

# ANÁLISE DE FALHA EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS: ESTUDOS DE CASOS<sup>1</sup>

Ruth Renati Ractz Martins<sup>2</sup>,  
Mariana dos Reis<sup>3</sup>,  
Sandro Griza<sup>4</sup>,  
Telmo Roberto Strohaecker<sup>5</sup>

## Resumo

O implante de próteses tem se tornado uma alternativa cada vez mais freqüente na atualidade. Tendo em vista a melhoria de projetos a análise de próteses revisadas apresenta-se como uma importante aliada, pois as condições mecânicas e microestruturais denominam importantes características para vida útil de um implante. Neste trabalho foi analisada uma placa femural com 11 parafusos de aço inoxidável conformado, parafuso de um componente acetabular de cromo cobalto e um sistema de fixação de coluna de liga de titânio, envolvendo os três materiais mais utilizados para implantes a fim de verificar inconformidades e identificar características que levaram a fratura em uso. As análises de falha efetuadas seguiram as recomendações básicas que sugerem: análise de acabamento superficial através de inspeção visual e macrografia; análise química em espectrometria de emissão óptica e microsonda EDX; análise metalográfica e análise da fratura em microscópio eletrônico de varredura. Em todos componentes revisados constatou-se irregularidades de natureza metalúrgica (teores de elementos, tamanho de grão inadequado e microconstituintes permissíveis) e/ou mecânicas (geometria concentradora de tensões propiciando baixo desempenho em fadiga).

**Palavras-chave:** Análise de falha; Implantes ortopédicos; Fadiga.

## Abstract

In modern times, prosthesis implants have become an important alternative. In view of the improvement of orthopedic projects, the analysis of revised prosthesis is presented as an important ally, because the mechanical and microstructural conditions ask for important characteristics for useful life of an implant. In this work a femoral plate with 11 stainless steel screws was analyzed, two screws of a component to acetabular of chromium cobalt more and a system of setting of column of titanium alloy. This research analyses the three materials most in use for implants in order to verify unconformity and to identify characteristics that caused the breaking of the prosthesis in use. The analyses of imperfections suggest the basic recommendations: surface finishing analysis through visual inspection and macrographs; chemical analysis in optics spectrometry emission and EDX Microprobe in a SEM; metallographic analysis and analysis of the rupture in scanning electron microscope (SEM). In all revised components, it was evidenced metallurgic irregularities (proportion of elements, inadequate size of grain and metallographic phases) and/or mechanical irregularities (geometry that concentrate tensions resulting in low performance in fatigue).

**Key words:** Orthopedic analysis of imperfection; Implants; Fatigue.

---

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Graduada em Engenharia Mecânica – UFRGS

<sup>3</sup> Graduada em Engenharia Metalúrgica – UFRGS

<sup>4</sup> Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. (PPGEM) – UFRGS

<sup>5</sup> Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM) - UFRGS

## 1 INTRODUÇÃO

Dados históricos mundiais revelam que entre 1940 e 1975, aproximadamente cem milhões de implantes metálicos foram colocados em seres humanos, e estima-se que com os avanços tecnológicos e maior longevidade da população mundial esses números sejam proporcionalmente maiores.<sup>(1)</sup> Contudo, a ocorrência de falhas de implantes cirúrgicos durante o uso não é rara, e torna-se cada vez mais necessário que os usuários do sistema de saúde, os hospitais e os profissionais da área se acautelem em relação às complicações que a falha de um implante cirúrgico pode causar.<sup>(2)</sup>

Dentre os implementos podem ser consideradas a evolução de uma variedade de materiais tais como aços inoxidáveis, ligas de Cr-Co e ligas de Ti. Em termos geométricos têm sido desenvolvidas mudanças de formas, introdução de degraus, nervuras e fendas.<sup>(3)</sup>

Existem atualmente diversos esforços no sentido de aumentar a vida útil dos implantes, dentre eles pode-se citar o estudo de componentes revisados, o que permite o esclarecimento do motivo da falha na tentativa de melhorar o projeto. (4).

O presente trabalho mostra algumas análises de falha em que se pode perceber que no Brasil ainda existem erros de projeto de implantes e utilização de materiais fora de especificação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Foi realizado um estudo envolvendo os três materiais mais utilizados para implantes sendo eles: aço inoxidável conformado, cromo cobalto e liga de titânio.

O estudo foi dirigido à região de fratura dos componentes conforme a Figura 1.



**Figura 1** – Vistas das próteses analisadas. (a) uma placa femoral com 11 parafusos de aço inoxidável conformado; (b) parafusos de um componente acetabular de cromo cobalto; (c) parafusos de sistema de fixação de coluna de liga de titânio.

## 2.2 Métodos

As análises efetuadas seguiram as recomendações básicas que sugerem:

- Esterilização em Auto clave

Visando à remoção de sangue, tecidos finos, tecido ósseo e outras substâncias.

- Inspeção Visual de marcações [ABNT NBR 15165 (Implantes ortopédicos: requisitos gerais para Marcação, Embalagem e Rotulagem.)];

A inspeção é dirigida para verificar se as amostras possuem marcação do fabricante e se houver para ver se encontram de acordo com a norma citada.

- Análise de acabamento superficial através de inspeção visual e macrografia;

É analisado o acabamento superficial como marcas de usinagem, arranhões, trincas fotografando todos os fatores importantes.

- Análise química em espectrometria de emissão ótica e microsonda EDX

Análise química é feita com o intuito de caracterizar a composição do implante que deve estar de acordo com as Normas ASTM F138-92, ABNT NBR 5832-1:1999 (Implantes para Cirurgia: Materiais metálicos Parte 1: Aço Inoxidável conformado) e ABNT NBR ISO5832-3:1999 (Implantes para Cirurgia: Materiais metálicos Parte 3: Liga conformada de titânio 6-Alumínio 4-Vanádio). Estas normas ditam os teores e composições admissíveis para ligas de aço Inoxidável conformado e titânio ligado.

A Norma ISO 5832-1 traz um requisito denominado de fator de resistência à corrosão por pites (C). Este é definido em função dos teores de cromo e molibdênio em porcentagem em peso (W) e não deve ser inferior a 26, conforme equação 1:

$$C = 3,3W_{Mo} + W_{Cr} \quad [1]$$

Onde C é o fator de pite e deve ser maior ou igual a 26.

A técnica de análise química quantitativa utilizada foi a de espectrometria de emissão ótica.

A análise em Microsonda EDS é realizada em microscópio eletrônico de varredura (Philips XL20) a fim de detectar os principais constituintes da amostra.

- Análise metalográfica

Os corpos de prova foram preparados de acordo com a Norma ABNT NBR 13284 (Preparação de corpos de prova para análise metalográfica).

Visando a caracterização metalúrgica foi usado um microscópio ótico (OLYMPUS BX60M) composto de um capturador digital de imagem (OLYMPUS DP12).

A microestrutura de implante de aço inoxidável conformado deve apresentar grãos austeníticos e relativamente homogêneos, isentos de ferrita delta, de segregações e de precipitados e o tamanho de grão não pode ser maior que o 4 de acordo com as especificações da norma ABNT NBR 5832-1(Implantes para Cirurgia: Materiais metálicos Parte 1: Aço Inoxidável conformado), de forma a garantir uma boa resistência à corrosão e à fadiga.

A microestrutura de implantes de ligas conformada de titânio 6 – alumínio 4 – vanádio deve ser globular alfa + beta de acordo com as especificações da norma

ABNT NBR 5832-3 (Implantes para Cirurgia: Materiais metálicos Parte 3: Liga Conformada de Titânio 6- Alumínio 4-Vanádio).

• Análise da fratura com inspeção visual e em microscópio eletrônico de varredura.

A análise da fratura foi feita através caracterização morfológica da superfície de fratura e de interpretação, onde normalmente revela a história dos eventos que precederam à falha. Para tal foi utilizado um microscópio estereoscópico (Zeiss, SZCTV) para obter dados macroscópicos da fratura, e microscópio eletrônico de varredura (Philips XL20).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Placa Femoral com 11 Parafusos de Aço Inoxidável conformado

Os parafusos não apresentavam marcações de rastreadabilidade.

A placa apresentava uma fratura junto a um dos furos e o parafuso rompeu em um plano no fundo do segundo filete desde a base da cabeça.

Nas fraturas foram detectadas estrias de fadiga na zona de propagação. (Figuras 2 e 3).

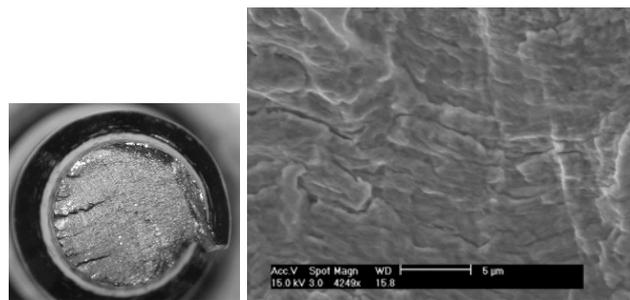


Figura 2: Análise da fratura do parafuso em lupa e em maior ampliação.

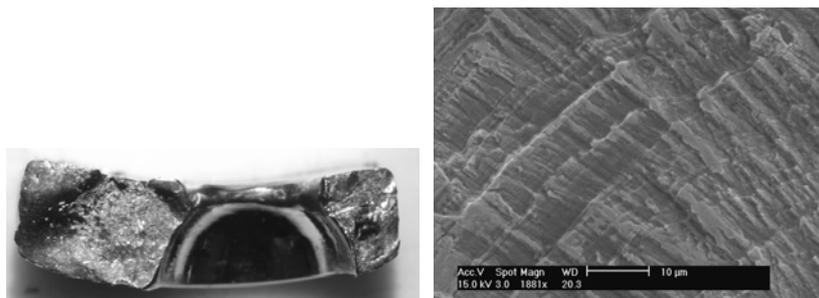


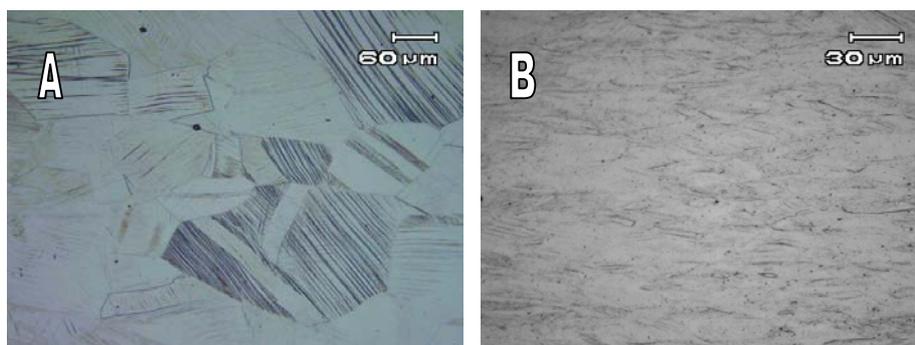
Figura 3: Análise da fratura da placa em lupa e em maior ampliação.

A placa foi submetida à análise química através de um espectrômetro de emissão ótica (Spectro). Foram realizadas três análises e então feita a média aritmética, mostrada na Tabela 1 onde em negrito se encontra o valor do Níquel que está fora de especificação. O parafuso de fixação não pôde ser analisado devido às suas dimensões reduzidas.

**Tabela 1** - Resultados da análise química da placa.

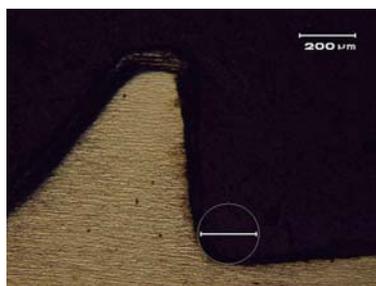
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
<b>Média</b>	0,016	0,26	1,89	0,001	0,001	17,94	<b>12,86</b>	2,75
<b>NBR ISO 5832-1 Composição D</b>	0,030 máx	1,0 máx	2,0 máx	0,025 máx.	0,010 máx.	17,0 – 19,0	13,0 – 15,0	2,25 – 3,5
<b>NBR ISO 5832-1 Composição E</b>	0,030 máx	1,0 máx	2,0 máx	0,025 máx.	0,010 máx.	17,0 – 19,0	14,0 – 16,0	2,35 – 4,2

A placa apresenta microestrutura composta por grãos de austenita deformados e tamanho de grão 3 [segundo a norma ASTM 112–96 (Standard Test Methods for Determining Average Grain Size)]. O parafuso apresenta microestrutura austenítica refinada por deformação à frio.



**Figura 4** – (a) Microestrutura da placa fraturada, (b) Microestrutura do parafuso.

O parafuso fraturado apresentou um raio de concordância do filete de apenas 0,11mm (figura 5) o que não é aconselhável pela norma ABNT NBR ISO 5835, que determina o raio mínimo de 0,3mm.

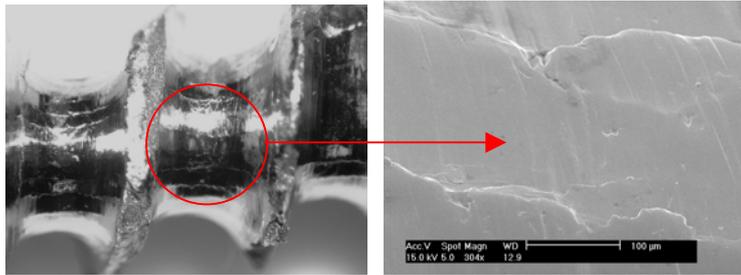


**Figura 5** – Raio do fundo do filete fraturado.

### 3.2 Parafusos de um Componente Acetabular de Cromo Cobalto

O componente acetabular metálico apresenta uma marcação simples (58 C) e os demais não apresentavam nenhuma marcação.

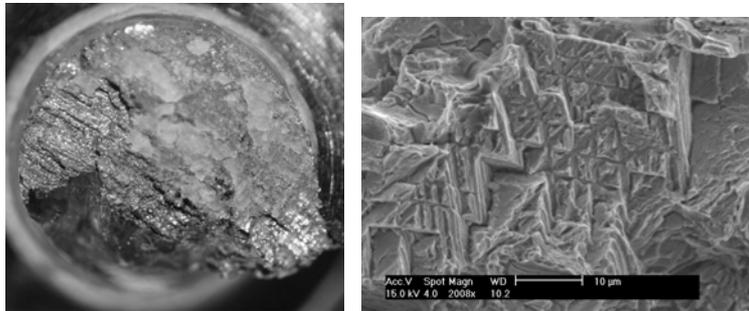
Foi analisado em lupa e em microscópio eletrônico de varredura o acabamento dos parafusos, que apresentaram acabamento rugoso devido à “escamações” longitudinais (Figura 6).



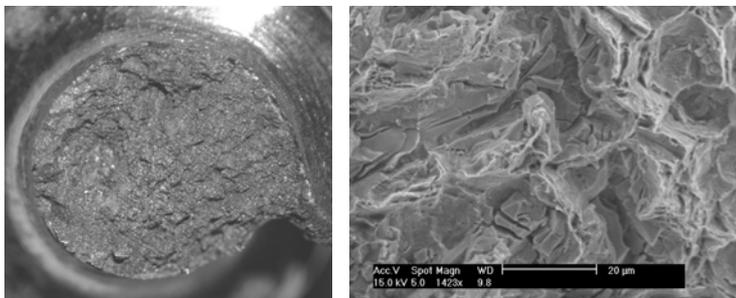
**Figura 6** - Acabamento dos parafusos, apresentando escamações longitudinais.

Dois dos parafusos apresentavam fraturas transversais que determinaram o rompimento no plano do fundo dos últimos filetes (Figuras 7 e 8) enquanto que um deles apresentou fraturas longitudinais nas cristas dos filetes (Figuras 9).

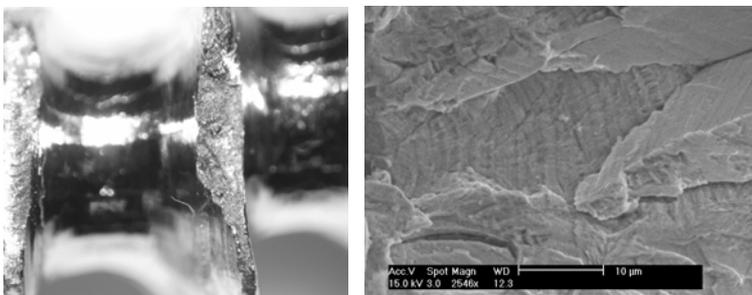
Na região das fraturas foi detectado o mecanismo predominante de separação interdendrítica e em algumas regiões, a formação de coalescimento de micro cavidades.



**Figura 7** - Análise da fratura do parafuso 1 em lupa e em maior ampliação, na qual se observa o aspecto frágil.

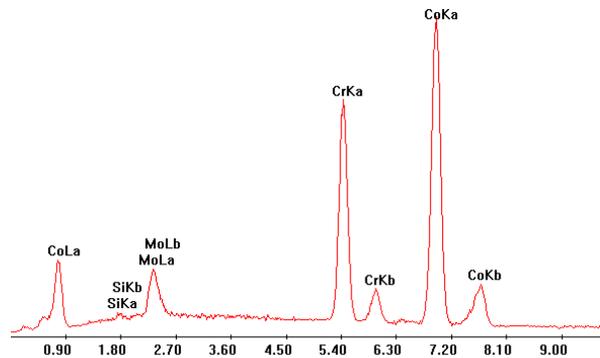


**Figura 8** - Análise da fratura do parafuso 2 em lupa e em maior ampliação, na qual se observa o aspecto frágil.



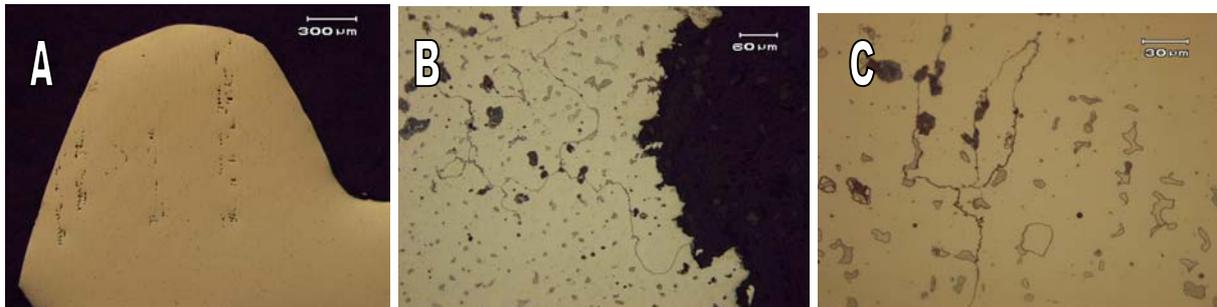
**Figura 9** - Análise da fratura do parafuso 3. Observa-se a fratura longitudinal por cisalhamento do filete e análise da fratura longitudinal de um dos filetes em microscópio eletrônico de varredura, onde verifica-se a separação interdendrítica.

Um dos parafusos fraturados e a casca acetabular metálica foram submetidos à análise dos principais elementos constituintes através de microsonda EDS. Foram observados picos predominantes na frequência do cromo e do cobalto para ambos (Figura 10).



**Figura 10** - Espectro de microsonda EDS característica do parafuso de da casca acetabular indicando picos de frequência nos elementos cromo e cobalto.

Para a análise microestrutural, foi preparada uma amostra de cada um dos parafusos. Os parafusos apresentam uma microestrutura típica de liga de cromo-cobalto bruta de fusão. Foram observadas a formação de grande quantidade de microrrechupes e uma microestrutura de dendritas grosseiras alfa e carbonetos precipitados (Figura 11).



**Figura 11** – (a) Metalografia junto à cabeça do parafuso 1 sem ataque mostrando os microrrechupes. (b) Microestrutura do parafuso 1 junto à fratura apresentando dendritas grosseiras e carbonetos dispersos. (c) microestrutura em detalhe.

### 3.3 Parafusos de um Sistema de Fixação de Coluna de Liga de Titânio

O conjunto não apresentava marcação de fabricante nem outra marcação qualquer daquelas indicadas pela norma.

O conjunto apresentava 3 parafusos fraturados. O parafuso A apresenta marcas de praia observadas pela lupa e estrias de fadiga verificadas em maior ampliação (Figura 12). O parafuso B apresenta uma superfície de fratura um pouco amassada e neste também foram verificadas estrias de fadiga (Figura 13). No parafuso C foi verificada uma superfície de fratura frágil, com aspecto grosseiro (Figura 14).

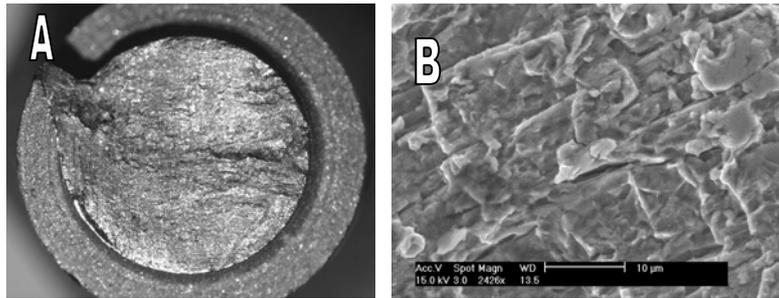


Figura 12 – Parafuso A em lupa (a) e em Microscópio Eletrônico de Varredura (b).

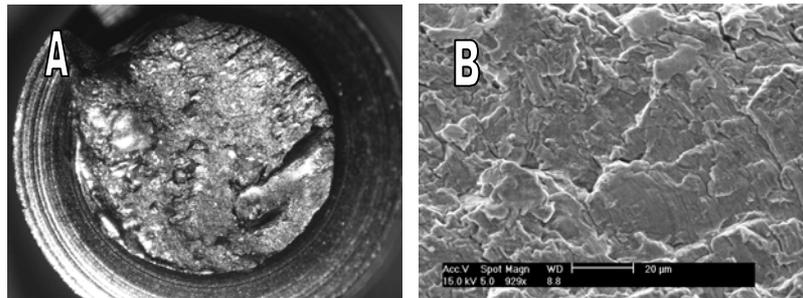


Figura 13 – Parafuso B em lupa (a) e em Microscópio Eletrônico de Varredura (b).

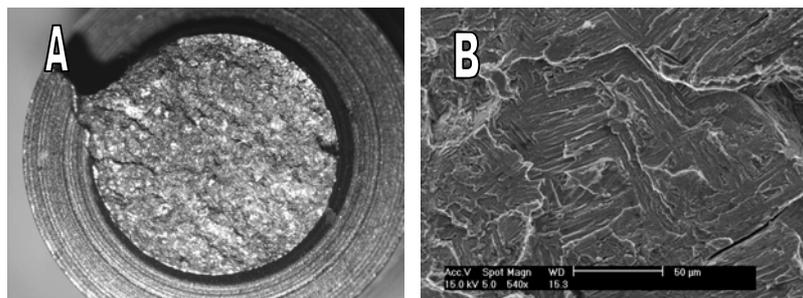


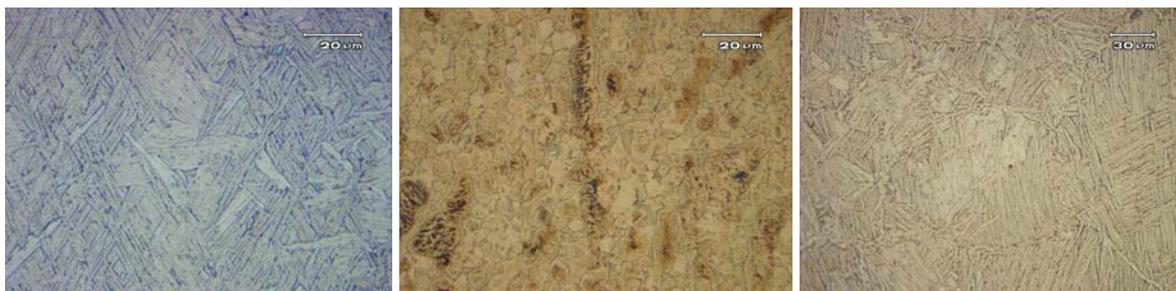
Figura 14 – Parafuso C em lupa (a) e em Microscópio Eletrônico de Varredura (b).

O material foi submetido à análise química através de um espectrômetro de emissão ótica (Spectro). Foram realizadas três análises e então feita a média aritmética, mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da análise química do material.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO)								
	Al	V	Fe	O	C	N	H	Ti
<b>Média</b>	5,88	4,076	0,156	0,131	0,019	0,0089	-	89,48
<b>ABNT NBR ISO 5832-3</b>	5,5 a 6,75	3,5 a 4,5	0,3 máx.	0,2 máx.	0,08 máx.	0,05 máx.	0,015 máx.	balanço

O conjunto apresenta uma microestrutura típica de liga de titânio transformado acima da temperatura crítica, com grãos alfa e beta acicular que são apresentadas na Figura 15.



**Figura 15** – Microestrutura dos parafusos A, B e C respectivamente com grãos alfa e beta acicular.

## **4 DISCUSSÕES**

### **4.1 Placa Femoral com 11 Parafusos de Aço Inoxidável Conformado**

Os filetes do parafuso fraturado apresentam raio de curvatura de 0,11mm, o que não é permitido pela Norma NBR ISO 5835 que exige no mínimo 0,3mm. A norma determina um raio mínimo de fundo de filete para evitar uma excessiva concentração de tensões o que, efetivamente, pode levar a redução da resistência à fadiga.

A placa apresenta um tamanho de grão n° 3, o que não é permitido pela norma que determina o tamanho de grão mínimo de 4 ASTM. A placa também apresenta o teor de níquel fora do especificado.

### **4.2 Parafusos de um Componente Acetabular de Cromo Cobalto**

Através das metalografias nos parafusos, constatou-se estrutura dendrítica grosseira típica de ligas de cromo-cobalto brutas de fusão. Também foi verificada a formação de grande quantidade de microrrechupes. Essa estrutura é a responsável pelas escamações nos filetes e pelas fraturas de aspecto frágil. A fabricação dos parafusos através dessa liga foi para que houvesse compatibilidade com a casca acetabular metálica, que também é de cromo-cobalto. Materiais que mantêm contato devem ser compatíveis (de preferência ser os mesmos materiais) para evitar processos corrosivos pela formação de pilha galvânica.

Entretanto, os parafusos deveriam ter sido fabricados a partir de uma liga de cromo-cobalto com estrutura mais refinada, assim como as obtidas por trabalho mecânico, para evitar as fraturas interdendríticas e as escamações de usinagem.

### **4.3 Parafusos de um Sistema de Fixação de Coluna de Liga de Titânio**

As fraturas analisadas nos dois primeiros parafusos apresentaram evidências de fadiga enquanto que no terceiro foi verificada uma fratura frágil incentivada pela textura de grãos grosseiros. Os parafusos apresentaram microestrutura formada por grãos  $\alpha$  e  $\beta$  acicular. Segundo a norma NBR ISO 5832-3 - Implantes Para Cirurgia – Materiais Metálicos – Liga Conformada de Titânio 6-Alumínio 4-Vanádio, a microestrutura deve ser globular e não acicular, exatamente para aumentar a resistência à propagação de trincas por fadiga. O material apresenta os constituintes dentro do determinado pela norma.

## 5 CONCLUSÕES

De todos componentes analisados a maioria apresenta marcas de identificação nem informações para permitir a rastreabilidade exigida e os que apresentavam não eram condizentes com a norma ABNT NBR 15165.

A maioria das fraturas teve evidências de fadiga.

Em todos componentes revisados constatou-se irregularidades de natureza metalúrgica (teores de elementos, tamanho de grão inadequado e micro constituintes permissíveis) e/ou mecânicas (geometria concentradora de tensões propiciando baixo desempenho em fadiga).

Com presente trabalho pode-se perceber que no Brasil ainda existem erros de projeto de implantes e utilização de materiais fora de especificação.

### Agradecimentos

Agradecemos a equipe do LAMEF pelo auxílio nas análises e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- 1 SMITH G. K. & BLACK J., Models for systemic effects of metallic implants. In: Symposium on Retrieval and Analysis of Orthopedic Implants, Proceeding, NBS Special Publication 472, pp 23-30. 1976;
- 2 FERRAZ, O. L. M., Questionamentos judiciais e a proteção contra o paciente: Um sofisma a ser corrigido pelo gerenciamento de riscos. *Revista Bioética do Conselho Federal de Medicina*, v. 5, n. 1. Junho 2001. <http://www.cfm.org.br/revista/bio1v5/questiona.html>.
- 3 GILLIES R.M., P.H. MORBERG, W.J.M. BRUCE, A. TURNBULL, W.R. WALSH. *Medical Engineering e Physics*, 24 pp 109, 2002;
- 4 C.R.F. AZEVEDO, E. HIPPERT JR., Failure Analysis of Surgical implants in Brazil, *Engineering Failure Analysis*, 9, pp.621-633. 2002;